

М.І. Антощенко, В.Ю. Тарасов, О.І. Захарова, А.Д. Петров, А.І. Захарова

Східноукраїнський національний університет імені Володимира Даля, Україна

## ЩОДО ВИЗНАЧЕННЯ ПОКАЗНИКА КАРБОНІЗАЦІЇ ВУГІЛЛЯ ДЛЯ ВСТАНОВЛЕННЯ ГРУП ПОЖЕЖОНЕБЕЗПЕЧНОСТІ ШАХТОПЛАСТІВ

У статті проаналізовано основні аспекти ендегенної пожежонебезпеки від впливу головних чинників. Суттєвий кореляційний зв'язок спостерігається між вмістом карбону та вмістом кисню і гідрогену. Результати дослідження показали, що співвідношення між усіма основними компонентами органічної маси вугілля при метаморфічних перетвореннях істотно змінюються на різних стадіях цих процесів. Встановлено залежність показника карбонізації від вмісту карбону на різних стадіях вуглефікації.

**Ключові слова:** показник карбонізації, ендегенна пожежонебезпека, елементний склад, органічна маса, метаморфізм, вуглефікація.

### Постановка проблеми

В даний час шахтопласти (виїмкові поля) за схильністю вугілля до самозаймання, відповідно до інструкції [1], поділяються на три групи ендегенної пожежонебезпеки:

- I - особливо небезпечні;
- II - небезпечні;
- III - малонебезпечні.

Паралельно з такою градацією встановлена [2,3] залежність ендегенної пожежонебезпеки від впливу головних чинників. До них були віднесені: ступінь вуглефікації, вміст загальної сірки, потужність пластів, що розробляються та їх будова, наявність тектонічних порушень. Ступінь вуглефікації комплексно характеризували вмістом легких речовин при термічному розкладанні вугілля без доступу повітря ( $V^{daf}$ ), маркою вугілля ( $M$ ) і показником карбонізації ( $C_n$ ).

Показник карбонізації знаходився за елементарним складом вугілля зі співвідношення  $\frac{C^r}{H^r + O^r}$  (де  $C^r$ ,  $O^r$ ,  $H^r$  – вміст у вугіллі основних вуглеутворюючих елементів, розрахованих на суху та беззолну масу). Відповідно до генетичної схильності вугілля до самозаймання шахтопласти були поділені на три групи:

- I –  $V^{daf} \geq 41\%$ ,  $C_n \leq 7$ , вугілля марок Д і частково Г;
- II –  $V^{daf} = 40-30\%$ ,  $C_n \leq 8$ , вугілля марок Г і частково Ж;
- III –  $V^{daf} < 36\%$ ,  $C_n > 8$ , вугілля марок Ж, К, ОС, Т.

Авторами [3] за допомогою графостатичного методу і використання головних чинників, було встановлено вісім характерних зон схильності шахтопластів до ендегенної пожежонебезпеки. У цих

зонах відносна кількість шахтопластів ( $q$ ) самозаймистого вугілля, при сумісному впливі головних чинників, змінювалося від нуля до одиниці. Підвищену ендегенну пожежонебезпеку ( $q = 1,0$ ) мали шахтопласти, незалежно від умов їх відпрацювання. Вони оцінювалися як досить небезпечні.

До категорії безпечних віднесені шахтопласти, при відпрацюванні яких самозаймання вугілля відсутнє ( $q = 0,0$ ).

При такому підході в діаметральнопротилежну групу ендегенної пожежонебезпеки ( $q = 1,0$  і  $q = 0,0$ ) потрапили шахтопласти з вугіллям одних марок. Це свідчить про відсутність чітких меж при розподілі шахтопластів на вісім зон за схильністю до ендегенної пожежонебезпеки.

Цей факт вказує на актуальність даного питання, так як нормативним документом [1] передбачено поділ шахтопластів за показниками ендегенної пожежонебезпеки тільки на три групи. Це заздалегідь визначає розмиті межі між цими групами і можливість помилкового віднесення шахтопластів до небезпечних або безпечних по самозайманню вугілля.

### Аналіз останніх досліджень і публікацій

Використання обмеженої кількості параметрів, що характеризують ступінь метаморфізму вугілля, призвело до віднесення всіх шахтопластів Донбасу, крім антрацитів, згідно з нормативним документом [1], схильними до самозаймання. При всьому різноманітті елементного складу вугілля і їх властивостей в ряду метаморфізму показники класифіковані за ступенем ендегенної пожежонебезпеки всього на три групи. Чітких меж між групами за ендегенною пожежонебезпекою на підставі генетичних ознак не встановлено за відсутності нормативної бази їх визначення.

Цю ситуацію підтверджують дослідження [2, 3]

по встановленню груп вугілля за ступенем вуглефікації з застосуванням трьох показників -  $V^{daf}$ , марки вугілля ( $M$ ) і карбонізації ( $C_n$ ). Слід зазначити, що обрані показники частково корелюють між собою і кожен з них не в повній мірі відображає перетворення вугілля в процесі метаморфізму.

Наведені факти свідчать про недоліки нормативного документа [1] в частині встановлення пожежонебезпеки шахтопластів.

### Формулювання мети та постановка завдань

Виходячи з наведеного аналізу, метою цієї роботи є дослідження особливостей змін елементного складу органічної маси вугілля у процесі їх метаморфічних структурних перетворень.

Поставлена мета досягається вирішенням таких завдань:

1. Побудувати залежність співвідношення елементів в органічній масі вугілля.
2. Розробити інженерний метод розрахунку показника карбонізації для всього ряду ступеня метаморфізму вугілля.
3. Встановити залежність показника карбонізації від вмісту карбону на різних стадіях вуглефікації.

### Викладення основного матеріалу

Генетичні показники ( $V^{daf}$ ,  $M$  і  $C_n$ ) є частково взаємозалежними факторами. Зв'язки між ними не є функціональними, вони не в достатній мірі характеризують ступінь перетворення вихідного органічного матеріалу і розподіл вугілля за марками. Ваговий вихід летючих речовин свідчить лише загальну кількість суміші газів, що виділилися з наважки вугілля при її нагріванні, без їх кількісної та якісної ідентифікації. З цієї причини  $V^{daf}$  лише в деякій частині може характеризувати ступінь метаморфізму вугілля і їх віднесення до певних марок. Показник  $C_n$  характеризує ступінь карбонізації вугілля в припущенні, що співвідношення між основними складовими органічної маси ( $C$ ,  $O$ ,  $H$ ) залишається незмінним на різних стадіях процесів метаморфізму. Таке припущення не підтверджено результатами експериментів аналітичної хімії та технічного аналізу.

Статистична обробка [3] довідникових даних [4-7] показала практично функціональну залежність між сумою основних компонентів органічної маси 0,995 (рис. 1а, пряма 1). Суттєва кореляційна залежність спостерігається у карбона з киснем та водородом. Парні коефіцієнти кореляції і емпіричні кореляційні відношення ( $R$ ) відповідно дорівнюють – 0,93; 0,79 і 0,96; 0,88.

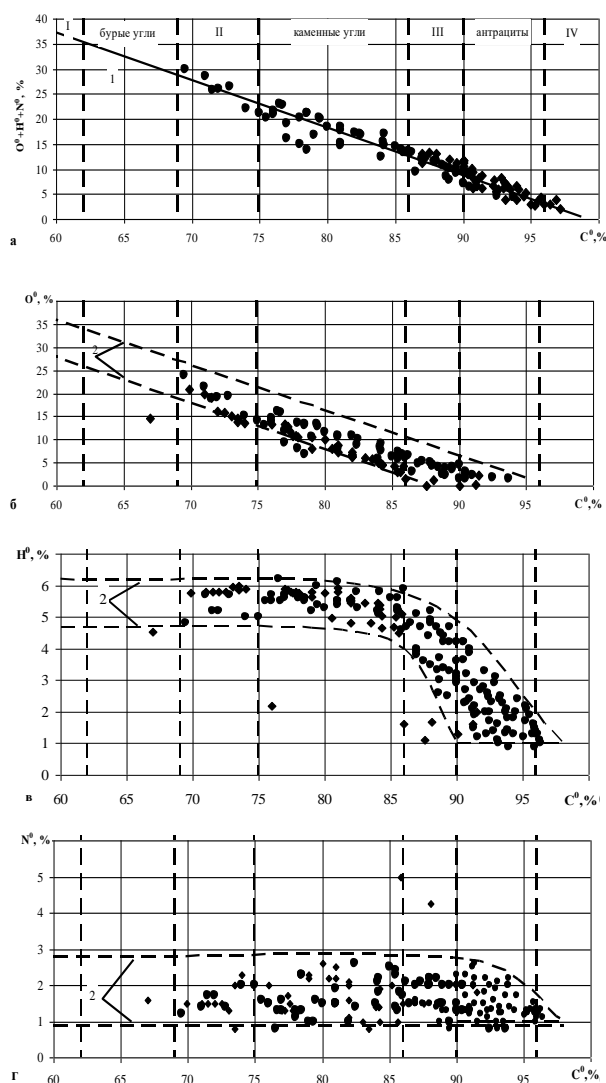


Рис. 1. Залежність зміни співвідношення елементів органічної маси вугілля [3]:

а – співвідношення вмісту карбону із сумішшю інших компонентів ( $O$ ,  $H$ ,  $N$ ); б – співвідношення вмісту карбону та кисню; в – співвідношення вмісту карбону та водороду; з – співвідношення вмісту карбону та нітрогену.

I, II, III, IV – діапазони зміни властивостей вугілля;

1 – лінійна інтерполяція експериментальних даних;

2 – межі зміни компонентів;

• – експериментальні дані [4-7].

Значний розкид точок експериментальних даних (рис. 1 б, в) обумовлений, вочевидь, різноманітністю складу вихідного матеріалу, умовами його накопичення і перетворення для різних вугільних басейнів і окремих шахтопластів.

Індивідуальні залежності зменшення вмісту кожного компоненту ( $O$ ,  $H$ ,  $N$ ) суттєво розрізняються (рис. 1). Зниження вмісту кисню, як і сумарного вмісту основних компонентів, відбувається

при збільшенні вмісту карбону. Загальний вміст основних компонентів зменшується обернено пропорційно збільшенню вмісту карбону в усьому діапазоні перетворення вугілля від малого ступеня метаморфізму ( $C_o \approx 70\%$ ) до антрацитів ( $C_o \approx 98\%$ ). Залежність зниження вмісту кисню при збільшенні вмісту карбону має нелінійний характер.

При вмісті карбону більше 88 %, спостерігається деяке зниження темпів скорочення кисню в

порівнянні з його зменшенням на більш ранніх стадіях метаморфізму. Це підтверджується збільшенням коефіцієнту регресії за абсолютною величиною до 0,812 (табл. 1 (3)), при обробці пар даних в діапазоні вмісту карбону 67,6-88,0% та його зниженням до 0,468 в інтервалі 88,0-97,41% (табл. 1 (4)).

Таблиця 1

Математична обробка кількісних та якісних показників органічної маси вугілля на різних стадіях метаморфізму

Вид залужності	Діапазон зміни карбону, %	Рівняння регресії	Кількість оброблених даних	Значення коефіцієнтів			Діапазон зміни компонентів, %	Діапазони $C_n$
				$r$	$R$	$R^2$		
$\Sigma O_o, H_o, N_o = f(C_o)$	70.4-97.41	$\Sigma O_o, H_o, N_o = -0.977 \cdot C_o + 97.9$ (1)	162	-0.99	0.99	0.98	29.1-2.7	2.5-35.7
$O_o = f(C_o)$	67.6-97.41	$O_o = -0.755 \cdot C_o + 71.99$ (2)	329	-0.93	0.96	0.92	21.0-1.6*	3.2-5.5
	67.6-88.0	$O_o = -0.812 \cdot C_o + 76.98$ (3)	177	-0.85	0.93	0.86	22.1-5.5	3.1-15.9
	88.0-97.41	$O_o = -0.468 \cdot C_o + 45.64$ (4)	152	-0.83	0.88	0.77	4.5-0.1	19.8-1869
$H_o = f(C_o)$	67.6-98.0	$H_o = -0.252 \cdot C_o + 25.79$ (5)	733	-0.79	0.88	0.77	8.7**-1.1	7.7-9.0
	67.6-88.0	$H_o = -0.005 \cdot C_o + 4.76$ (6)	119	0.03	0.41	0.17	4.4-4.3	15.3-20.4
	88.0-98.0	$H_o = -0.412 \cdot C_o + 40.68$ (7)	614	-0.73	0.78	0.61	4.4-0.3	19.9-322.4
$N_o = f(C_o)$	72.0-97.41	$N_o = -0.021 \cdot C_o + 3.45$ (8)	154	-0.19	0.40	0.16	1.9-1.4	37.2-69.4
	72.0-95.0	$N_o = -0.012 \cdot C_o + 2.68$ (9)	141	-0.10	0.38	0.14	1.8-1.5	39.6-64.5
	95.0-97.41	$N_o = -0.097 \cdot C_o + 10.55$ (10)	13	-0.16	0.86	0.73	1.3-1.1	71.2-88.5

Примітка: \* -  $O_o = -1,6$ , похибка отримана за рахунок використання прямолінійної інтерполяції;

\*\* - верхня межа вмісту  $N_o$ , відповідно до рис. 1в складає 6,0 %.

Збільшення кількості карбону до 88 % відбувається, в основному за рахунок видалення кисню і незмінній кількості гідрогену і нітрогену на цих стадіях метаморфізму.

Після досягнення вмісту карбону 88 %, поряд зі скороченням кількості кисню, починає зменшуватися вміст гідрогену в середньому від 5,5 до 1,0. Зниження вмісту нітрогену з 2,0 до 1,0% і менше, стає помітним тільки після збільшення кількості карбону в органічній масі до 95% (рис.1).

Зіставляючи зміну хімічного складу органічної (горючої) маси на різних стадіях метаморфізму, можна оцінити втрату системою компонентів. Зменшення кисню відбувається в усьому ряду метаморфізму, а гідрогену і нітрогену тільки при досягненні певного рівня хімічних перетворень вихідного матеріалу.

Зменшення вмісту основних компонентів органічної маси вугілля ( $O_o, H_o, N_o$ ) при збільшенні вмісту карбону встановлено при статистичній обро-

бці [3], в цілому 2594 експериментальних пар даних, отриманих авторами [4-8] в різних вугільних басейнах (табл. 1). Кореляційний аналіз дозволяє кількісно характеризувати співвідношення між вмістом основних компонентів і вмістом карбону (табл.1).

Не викликає сумнівів оберненопропорційна функціональна залежність суми вмісту основних компонентів при збільшенні вмісту  $C_o$  (табл. 1 (1), рис. 1а), що підтверджується кореляційними показниками ( $r = -0,99$  і  $R = 0,99$ ).

При зміні вмісту карбону в інтервалі 70,40-97,41%, значення  $\Sigma O_o, H_o, N_o$  знаходиться в діапазоні 29,1-2,7%. Показник карбонізації для всього ряду метаморфізму вугілля знаходиться в межах 2,5-35,7 (табл.1), його мінімум відповідає максимальному значенню суми основних компонентів. Значення  $C_n = 35,7$  в даному випадку відповідає максимальному вмісту карбону 97,41%.

Не настільки пропорційно відбувається зменшення вмісту окремих компонентів ( $O_o, H_o$  і  $N_o$ ) у

всьому діапазоні ряду вуглефікації та зміна значень показника  $C_n$  при зміні вмісту окремих компонентів.

Значення вмісту кисню в процесі вуглефікації знижується з 21,0% до нуля (табл.1(2)), а  $C_n$  дорівнює 3,2-5,5.

Зменшення вмісту гідрогену відбувається від 8,7 до 1,1 % (табл. 1(5)) при значенні  $C_n = 7,7-9,0$ .

Найменші зміни в процесі вуглефікації відбуваються з нітрогеном. Підтверджено скорочення вмісту нітрогену з 1,9 до 1,4% (табл.1(8)). При цьому значення показника  $C_n$  були максимальними (37,2-69,4) для всього ряду вуглефікації. В даному випадку скорочення кисню відбулося на 21%, а показник  $C_n$  збільшився на 2,3 одиниці з 3,2 до 5,5. Поряд з цим скорочення вмісту нітрогену на 0,5% з 1,9 до 1,4% призвело до зростання  $C_n$  з 37,2 до 69,4.

Така неоднозначна кореляція показника карбонізації та зміни вмісту окремих компонентів у всьому інтервалі ряду карбонізації свідчить про необхідність більш детального розгляду зміни значень  $C_n$  у виділених межах зміни  $C_o$ .

Залежність зміни процентного вмісту кисню від  $C_o$  в інтервалі його зміни 67,60-88,0% (табл. 1) відповідає рівнянню 3 ( $r = -0,85$  і  $R = 0,96$ ). Діапазон зміни показника  $C_n$  в даному випадку визначається діленням значень  $C_o$  на рівняння (3):

$$C_n = \frac{67,60 \div 88,00}{-0,812 \cdot C_o + 76,98} = 3,1 \div 15,9 \quad (11)$$

Аналогічно визначається інтервал зміни  $C_n$  при  $C_o = 88,0-97,41\%$  враховуючи рівняння (4):

$$C_n = \frac{67,60 \div 88,00}{-0,468 \cdot C_o + 45,64} = 19,8 \div 1869,0 \quad (12)$$

Зміна характеру залежності  $O_o = f(C_o)$  в розглянутих діапазонах вмісту карбону (рівняння 3,4) та різке збільшення показника  $C_n$  при  $C_o > 88\%$ , свідчать про суттєві зміни властивостей вугілля при незначній відміні вмісту карбону.

У всьому ряду вуглефікації ( $C_o = 67,6 \div 98,0\%$ ) зміна вмісту гідрогену в цілому кореляційно залежить від  $C_o$  (рівняння 5,  $r = -0,79$ ;  $R = 0,88$ ), однак при значеннях  $C_o = 67,6-88,0\%$  такий зв'язок не проявляється (рівняння 6,  $r = 0,03$ ;  $R = 0,41$ ). Це підтверджується практично незмінним значенням  $H_o = 4,4-4,3\%$ . В цьому випадку

$$C_n = \frac{67,6 \div 88,00}{-0,005 \cdot C_o + 4,64} = 15,3 \div 20,4 \quad (13)$$

В діапазоні зміни  $C_o = 88,0-98,0\%$  спостерігається кореляційна залежність гідрогену від  $C_o$  (рівняння 7,  $r = -0,73$ ;  $R = 0,78$ ). У цьому інтервалі

зміни  $C_o$  відбувалося зниження вмісту гідрогену від 4,4 до 0,3%. Показник карбонізації у цьому діапазоні має таку залежність:

$$C_n = \frac{88,0 \div 98,00}{-0,412 \cdot C_o + 40,68} = 19,93 \div 322,4 \quad (14)$$

Неоднозначні зміни вмісту гідрогену при різних значеннях  $C_o$  та різкий стрибок показника  $C_n$  підтверджують, як і в випадку зміни вмісту кисню, про появу якісно нових властивостей вугілля.

На окремих стадіях вуглефікації вміст нітрогену був практично сталим і зміна його значень не перевищувала 0,3%. Кореляційні залежності були практично відсутні ( $r = -0,10 \div -0,19$ ). При вмісті карбону  $C_o > 95,0\%$  встановлена нелінійна залежність вмісту гідрогену ( $R = 0,86$ ). Показники  $C_n$  для інтервалів зміни  $C_o$  72,0-95,0% і 95,00-97,41 визначали відповідно за рівняннями 9 і 10:

$$C_n = \frac{72,0 \div 95,00}{-0,012 \cdot C_o + 2,68} = 39,6 \div 64,5 \quad (15)$$

$$C_n = \frac{95,00 \div 97,41}{-0,097 \cdot C_o + 10,55} = 71,20 \div 88,50 \quad (16)$$

Поява нелінійної залежності  $N_o = f(C_o)$  при  $C_o > 95,0\%$  і підвищене значення  $C_n = 71,2 \div 88,5$  свідчить про наявність відмінних властивостей вугілля в порівнянні з попередніми стадіями вуглефікації.

У загальному випадку показник карбонізації визначається співвідношенням:

$$C_n = \frac{C_o}{O_o + H_o + N_o} \quad (17)$$

Кореляційні зв'язки вмісту кисню зі зміною вмісту карбону встановлені в діапазонах 67,60-88,00% і 88,00-97,41% (табл. 1(3,4)). В інтервалі 67,60-88,00 % зміни  $C_o$ , значення вмісту гідрогену практично не змінюється (табл. 1 (6),  $r = -0,10$ ;  $R = 0,38$ ).

Така зміна співвідношення компонентів дозволяє при визначенні показника  $C_n$  в інтервалі  $C_o = 67,6 \div 88,0\%$  вважати значення  $H_o$  і  $N_o$  постійними величинами. Для даного випадку рівняння (17) з урахуванням залежності (3) можна представити у такому вигляді:

$$C_n = \frac{C_o}{(-0,812 \cdot C_o + 76,98) + 4,37 + 1,75} \quad (18)$$

Відповідно до рівняння (18) значення  $C_n$  при  $C_o = 67,6 \div 88,0\%$  змінюються від 2,4 до 7,56.



Відсутність кореляційного зв'язку  $N_o$  в діапазоні зміни  $C_o = 72,0 \div 95,0\%$  (рівняння 9,  $r = -0,10$ ;  $R=0,38$ ) та його наявність для  $O_o$  і  $H_o$  рівняння 4 і 7) дозволяють моделювати рівняння (17):

$$C_n = \frac{C_o}{-0,88 \cdot C_o + 88,07} \quad (19)$$

Значення  $C_n$  у цьому випадку змінюються в діапазоні  $8,28 \div 21,25$ .

В інтервалі  $95,0 \div 98,0\%$  збільшення  $C_o$  спостерігається зниження вмісту всіх компонентів ( $O_o$ ,  $H_o$ ,  $N_o$ ) органічної маси. У даному випадку, користуючись рівняннями 4, 7 і 10, значення  $C_n$  визначають за формулою:

$$C_n = \frac{C_o}{-0,977 \cdot C_o + 96,87} \quad (20)$$

Відповідно до рівняння (20) значення  $C_n$  змінюється у межах  $23,42 \div 87,12$ . Отримані рівняння (18-20) для визначення змін показника карбонізації в різних діапазонах зміни вмісту карбону, дали змогу встановити залежність  $C_n = \frac{C_o}{99,15 - C_o}$  (рис. 2).

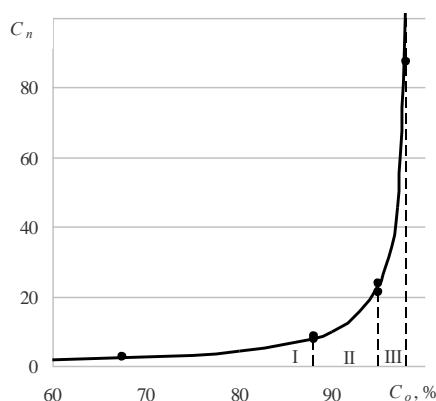


Рис. 2. Залежність показника карбонізації ( $C_n$ ) від вмісту карбону ( $C_o$ ) в органічній масі.

I – інтервал збільшення вмісту  $C_o$  при скороченні частки кисню;

II – діапазон росту вмісту  $C_o$  при одночасному зменшенні кисню та гідрогену;

III – інтервал зміни вмісту  $C_o$  при одночасному скороченні кисню, гідрогену та нітрогену.

Формула дозволяє за величиною  $C_o$  встановлювати конкретне значення показника  $C_n$ , замість його градації на групи  $C_n \leq 7$ ,  $C_n \leq 8$  і  $C_n > 8$  [2].

Запропонований спосіб значно уточнює визначення показника карбонізації, значення якого є необхідним не тільки для встановлення пожежонебезпечності шахтопластів, але й дозволяє встановлювати інші прояви небезпечних властивостей вугільних пластів при проведенні гірничих робіт.

## Висновки

Проведені дослідження показали, що:

- для вдосконалення методики визначення показника карбонізації вугілля поряд з вмістом карбону необхідно враховувати вміст інших компонентів ( $O_o$ ,  $H_o$ ,  $N_o$ ) органічної маси;
- співвідношення між усіма основними компонентами органічної маси вугілля при метаморфічних перетвореннях істотно змінюються на різних стадіях цих процесів;
- незначні зміни вмісту гідрогену і нітрогену при скороченні вмісту кисню в органічній масі свідчать про зміну властивостей вугілля;
- розроблено інженерний метод розрахунку показника карбонізації для всього ряду ступеню метаморфізму вугілля. Вперше встановлено залежність показника карбонізації від вмісту карбону на різних стадіях углефікації.

## Література

1. КД 12.01.401-96 Эндогенные пожары на угольных шахтах Донбасса. Предупреждение и тушение. Инструкция. Издание официальное [Текст] / П.С. Паиковский, В.К. Костенко, В.П. Заславский, А.Т. Хорольский, А.Г. Заболотный [и др.]. – Донецк: НИИГД, 1997. – 68 с.
2. Li, H., Zou, X., Mo, J., Wang, Y. and Chen, F. (2018) Coal Deformation, Metamorphism and Tectonic Environment in Xinhua, Hunan. *Journal of Geoscience and Environment Protection*, 6, 170-182. doi:10.4236/gep.2018.69013
3. Антощенко, Н.И. Метан в угольных пластах от образования до выделения [Текст] : Монография / Н.И. Антощенко – Алчевск : ДонГТУ. – 2006. – 267 с.
4. Миронов, К. В. Справочник геолога-угольщика. [Текст] / К.В. Миронов – М.: Недра. – 1982. – 311 с.
5. Геолого-углегеохимическая карта Донецкого бассейна. [Текст] – ДонУТИ. Вып. VIII/ - М.: Углетехиздат, - 1954 – 430 с.
6. Желдаков, М. Е. Справочник по качеству антрацитов Советского Союза. [Текст] / М.Е. Желдаков, Е.И. Иванова – М.: Недра. – 1980. – 99 с.
7. Структурно-тектонифизические исследования для прогноза газоносности и горно-геологических условий на полях шахт Донецко-Макеевского района [Текст] / В.А. Корчмагин, В.И. Алехин, И.О. Павлов // Геотехническая механика: Межвед. сб. науч. тр. — Днепропетровск: ИГТМ НАНУ, 2010. — Вып. 87. — С. 209-217.
8. Antoshchenko, M., Tarasov, V., Zakharova, O. (2019) Analysis of fire and hazardous sites (zones) in coal mines and the causes of coal self-ignition. *Technology audit and production reserves*, 6, 3 (50), 14-18. - <https://doi.org/10.15587/2312-8372.2019.185953>

## References

1. Pashkovskij, P.S., Kostenko, V.K., Zaslavskij, V.P., Zaslavskij, V.P., Horolskij, A.T., Zabolotnyj, A.G. end. (1997) KD 12.01.401-96 Endogennye pozhary na ugodnyh shahтах Donbassa. Preduprezhdenie i tushenie. Instrukciya. Izdanie oficialnoe. Doneck: NIIGD, 68.
2. Li, H., Zou, X., Mo, J., Wang, Y. and Chen, F. (2018) Coal Deformation, Metamorphism and Tectonic Environment

- in Xinhua, Hunan. *Journal of Geoscience and Environment Protection*, 6, 170-182. doi:10.4236/gep.2018.69013
3. Antoshenko, N.I. (2006) Metan v uholnyh plastah ot obrazovaniya do vydeleniya : Monografiya – Alchevsk : DonGTU, 267.
4. Mironov, K. V. (1982) Spravochnik geologa-ugolshika. – M.: Nedra, 311.
5. Geologo-uglehimicheskaya karta Doneckogo bassejna (1954). – DonUGI. Vyp. VIII/ - M.: Ugletehzdat, 430.
6. Zheldakov, M. E., Ivanova, E. I. (1980) Spravochnik po kachestvu antracitov Sovetskogo Soyuza. – M.: Nedra, 99.
7. Korchemagin, V.A., Alehin, V.I., Pavlov, I.O. (2010) Strukturno-tektonofizicheskie issledovaniya dlya prognoza gazonosnosti i gorno-geologicheskikh usloviy na polyah shaht Donecko-Makeevskogo rajona. *Geotekhnicheskaya mehanika: Mezhd. sb. nauch. tr.* — Dnepropetrovsk: IGTM NANU, 87, 209-217.
8. Antoshchenko, M., Tarasov, V., Zakharova, O. (2019) Analysis of fire and hazardous sites (zones) in coal mines and the causes of coal self-ignition. *Technology audit and production reserves*, 6, 3 (50), 14-18. - <https://doi.org/10.15587/2312-8372.2019.185953>

**Рецензент:** д-р техн. наук, проф. О.В. Суворін, Східноукраїнський національний університет імені Володимира Даля, Сєверодонецьк, Україна

**Автор:** АНТОЩЕНКО Микола Іванович  
доктор технічних наук, професор, професор кафедри Східноукраїнський національний університет імені Володимира Даля,  
E-mail - [kaf.zfx.sti@gmail.com](mailto:kaf.zfx.sti@gmail.com)  
ID ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-8901-8263>

**Автор:** ТАРАСОВ Вадим Юрійович  
кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри Східноукраїнський національний університет імені Володимира Даля,  
E-mail - [vatarasov81@gmail.com](mailto:vatarasov81@gmail.com)  
ID ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-3614-0913>

**Автор:** ЗАХАРОВА Ольга Іванівна  
кандидат хімічних наук, доцент, доцент кафедри Східноукраїнський національний університет імені Володимира Даля,  
E-mail - [rubej10@gmail.com](mailto:rubej10@gmail.com)  
ID ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-3400-411X>

**Автор:** ПЕТРОВ Артур Дмитрович  
судовий експерт  
Луганський науково-дослідний експертно-криміналістичний центр МВС України  
E-mail - [lfeliks1@gmail.com](mailto:lfeliks1@gmail.com)  
ID ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-4241-9726>

**Автор:** ЗАХАРОВА Анастасія Іванівна  
студентка  
Східноукраїнський національний університет імені Володимира Даля,  
E-mail - [rubej10@gmail.com](mailto:rubej10@gmail.com)  
ID ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-2190-1708>

## ON DETERMINING THE COAL CARBONIZATION INDICATOR FOR ESTABLISHMENT OF MINE FIRE HAZARD GROUPS

M. Antoshchenko, V. Tarasov, O. Zakharova, A. Petrov, A. Zakharova  
Volodymyr Dahl East Ukrainian National University, Ukraine

The article analyzes the dependence of endogenous fire hazards on the following factors: the degree of coalification, the total sulfur content, the thickness of the developed formations and their structure, the presence of tectonic disturbances. By the genetic propensity of coals to spontaneous combustion, three groups of coal sites are distinguished: I –  $V^{daf} \geq 41\%$ ,  $C_n \leq 7$ , coals of marks D and partially G; II –  $V^{daf} = 40-30\%$ ,  $C_n \leq 8$ , coals of marks D and partially F; III –  $V^{daf} < 36\%$ ,  $C_n > 8$ , coals of marks Zh, K, OS, T. Studies have shown that individual dependences of the decrease in the content of each component ( $O_o$ ,  $H_o$ ,  $N_o$ ) significantly differ from each other. Decrease in oxygen content, as well as the sum of the main components, occurs with an increase in carbon content. The sum of the content of the main components decreases inversely to the increase in carbon content over the entire range of coal conversion from a small degree of their metamorphism ( $C_o \approx 70\%$ ) to anthracites ( $C_o \approx 98\%$ ). The dependence of decrease in oxygen content with increased carbon is nonlinear. With carbon content of more than 88%, there is a slight decrease in the rate of oxygen reduction in comparison to its decrease at earlier stages of metamorphism. Data analysis showed an almost functional dependence between the sum of the main components of the organic mass (0.995). A significant correlation of carbon with oxygen and hydrogen is observed. A significant scatter of points in experimental data is due to the diversity of composition of the source material, the conditions of its accumulation and transformation for different coal basins and individual coal sites. Studies have shown that the relationships between all the main components of the organic mass of coal during metamorphic transformations change significantly at different stages of these processes. The established dependence of the carbonization index on the carbon content at different stages of coalification allowed us to develop an engineering method for calculating the carbonization index for the entire range of coal metamorphism. The proposed method significantly clarifies the determination of the carbonization index, which is necessary not only for establishing the fire hazard of mine layers, but also for establishing other manifestations of the dangerous properties of coal sites during mining operations.

**Keywords:** carbonization index, endogenous fire hazard, elemental composition, organic mass, metamorphism, coalification.